



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Memoria de resultados del proyecto de
innovación docente N^o: ID2018/096

**DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE MODELOS
DIDÁCTICOS PARA LA DOCENCIA DE
ESTRUCTURAS INDUSTRIALES
UTILIZANDO UNA IMPRESIÓN 3D**

Béjar, 25 de junio de 2019



Índice

1. Introducción	1
1.1. Objetivos del proyecto	2
2. Plan de trabajo	3
2.1. Descripción de las actividades realizadas	3
2.2. Sistema de evaluación	12
3. Resultados	12
4. Conclusiones	13



1.- Introducción

La experiencia docente de los miembros del equipo, que conforman esta propuesta, es muy amplia. En numerosas reuniones se ha manifestado la dificultad de nuestros estudiantes a la hora de visualizar las estructuras, especialmente cuando se requiere una visión en 3D de las mismas.

Este hecho no sólo dificulta el diseño, y por tanto el cálculo de las estructuras, sino también la capacidad de los estudiantes a la hora de realizar mejoras o innovaciones estructurales en sus trabajos fin de grado.

Por otro lado, a nosotros, como docentes, nos resulta muy útil poder explicar los conceptos de la resistencia de los materiales y de las estructuras, utilizando para ello un modelo de estructura 3D.

Estas circunstancias y la reciente adquisición, por el departamento, de una impresora 3D, como material docente, nos ha permitido desarrollar este proyecto.

La innovación que se pretende con este proyecto es introducir, en la docencia de las asignaturas relacionadas con el estudio de los materiales y las estructuras, el diseño y la modelización de estructuras industriales, a escala, en 3D.

Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado una impresora 3D que emplea la técnica aditiva en la construcción de los prototipos. Esta técnica se emplea, hoy en día, en para la realización de algunas construcciones civiles e industriales.

Las actividades realizadas, acordes con el programa de actividades presentado en la memoria del proyecto, se han centrado en técnicas de aprendizajes innovadoras y de efectividad reconocida, que favorecen el autoaprendizaje, apoyándose en la resolución de problemas reales y la realización de trabajos que permitan al estudiante poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos.

Se busca subsanar las dificultades detectadas en la aprehensión, por parte de un porcentaje de estudiantes alto, de conceptos fundamentales en el estudio, cálculo y diseño de estructuras, como son:

- El problema de las tres fuerzas.
- La estructura canónica básica.
- La forma de curva elástica de algunos elementos sometidos a esfuerzos de flexión o de torsión.
- La compensación de esfuerzos entre las distintas partes de una estructura.

Mediante la visualización de las estructuras, técnica que se propone, los estudiantes podrán observar las deformaciones en las mismas denotando los puntos críticos de estas e identificando los esfuerzos que las producen.

Para poder desarrollar estas técnicas es necesario un trabajo previo de diseño y modelización, utilizando herramientas CAD/CAE. En nuestro caso, la Universidad de Salamanca en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar, cuenta con licencia en aula de informática del software comercial Autodesk Inventor. Este software, como herramienta CAD servirá para desarrollar los prototipos que posteriormente se utilizarán, convertidos en modo CAM, el modelo real en 3D. Hasta ahora sólo se había podido realizar diseños en CAD y ahora, con esta tecnología podemos desarrollar modelos fabricados (CAM).

Todo esto, permitirá nuevas aplicaciones docentes en las asignaturas antes relacionadas y que servirán para ampliar la capacidad formativa y la mejora para la adquisición de las competencias de los futuros estudiantes de estas materias.

En una segunda etapa, se desarrollaron, mediante esta técnica aditiva, probetas de distintos materiales que permiten a los estudiantes, mediante un ensayo posterior, comprobar sus propiedades mecánicas. De esta forma completaremos la formación con el estudio de nuevos materiales.

1.1. Objetivos del proyecto

Para resolver las dificultades expuestas anteriormente, se plantearon los siguientes objetivos:

- 1.- Aumentar la capacidad de visualización de los estudiantes, en el campo de las estructuras.
- 2.- Completar el análisis teórico, que realizan los estudiantes, de los problemas propuestos y resueltos en clase.
- 3.- Motivar a los estudiantes, mediante la visualización de las estructuras, de la importancia que tienen las mismas ~~para~~ en una sociedad avanzada.
- 4.- Mayor participación de los estudiantes en la docencia de las asignaturas.
- 5.- Incorporación de una nueva tecnología en la docencia.
- 6.- Desarrollo de sistemas estructurales innovadores que permitan un avance en el conocimiento de las materias docentes.

En base al trabajo desarrollado, dentro de la actividad docente propuesta a los estudiantes se han cumplido los siguientes objetivos:

- Primer y Tercer Objetivo: los estudiantes han podido visualizar el modelo de estructura, ya que a través de las herramientas CAD han podido diseñarlas de manera precisa. Este trabajo ha supuesto para el estudiante un estímulo muy importante, pues se ha convertido en protagonista del diseño de elementos que posteriormente va a analizar y a producir con la impresión 3D.
- Segundo Objetivo: En este objetivo el estudiante ha podido analizar teóricamente el elemento estructural propuesto y ha podido comprobar, mediante el análisis con la herramienta CAE, si los resultados obtenidos por ambos métodos coinciden o no. En caso negativo podrá analizar y encontrar cuál es la causa que ha generado la diferencia entre ambos procedimientos.

- Cuarto Objetivo: Este objetivose ha cumplido ampliamente. Para nosotros como docentes ha supuesto una gran satisfacción ya que hemos descubierto el gran interés que ponen los estudiantes, cuando ellos se convierten en protagonistas de sus trabajos.
- Quinto Objetivo: Este objetivo es un objetivo planteado para ser conseguido a medio plazo. La incorporación del método como actividad docente depende, sobre todo, de la posibilidad de contar con alguna impresora 3D más, que permita aumentar las actividades de prácticas en el periodo lectivo de las asignaturas.
- Sexto Objetivo: Se ha desarrollado, en el periodo de vigencia de este proyecto de innovación, un trabajo fin de grado mediante el cual se ha estudiado la capacidad mecánica de filamentos de PLA con distintos parámetros de impresión. Para realizar este trabajo se han diseñado probetas, según norma ISO-EN-527 . Estas probetas de han ensayado en máquina de ensayos universal, con la que cuenta la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Los resultados obtenidos, en el momento de desarrollar esta memoria, están siendo analizados.

2. Plan de trabajo

2.1. Descripción de las etapas de desarrollo

El plan de trabajo para poder conseguir los objetivos se plantea en las siguientes etapas:

Etapas 1: Recopilación de información sobre los tipos de estructuras, didácticamente más adecuadas, para la docencia. Esta información conlleva no sólo la descripción general de las mismas sino también el estudio de las formas y dimensiones más adecuadas.

La primera actividad que se plantea a los estudiantes es que identifiquen la tipología de estructuras que más les cuesta visualizar. Dentro de este trabajo de recopilación, se les propone que indiquen cuales son los conceptos más difíciles de entender por ellos.

Dentro de las estructuras industriales más difíciles de comprender se encuentran, en general, las estructuras tridimensionales, o bien con elementos articulados, o bien con elementos rígidos en diferentes direcciones del espacio.

Una vez identificados los problemas más importantes, se elige una estructura que recoja los contenidos más difíciles de comprender por el estudiante. En este aspecto destacan:

- Compresión de las tensiones a las que se encuentran sometidos estos elementos: flexión, cortadura, tracción, compresión.
- Identificación de los elementos más propensos a sufrir proceso de pandeo cuando se soportan fuerzas de compresión
- Reconocimiento de los elementos que sufren una mayor deformación, y aprender a descubrir cuál es el esfuerzo que la provoca.
- Comprender que el peso propio de las estructuras es el esfuerzo más importante que tienen que soportar las mismas.

Posteriormente al realizar estos diseños en plásticos se ha podido comprobar que su ligereza es la mayor ventaja que nos transmiten.

Etapas 2: Diseño de cada uno de los modelos de estructura que se van a modelizar.

En primer lugar, los estudiantes, individualmente, en un ordenador del aula de informática del Centro, realizará un boceto de la primera estructura.

El primer ejercicio que se plantea es un modelo de celosía en forma de viga articulada con barras, cuya disposición es para una tipología Warren. Este modelo de celosía es estudiado analíticamente en las asignaturas de Estructuras Industriales, correspondiente al grado en Ingeniería Mecánica. Se trata de una estructura utilizada en puentes que sirven de paso de convoyes ferroviarios.

Mediante el software Autodesk Inventor, con la licencia de estudiante que tiene la Universidad de Salamanca en sus aulas de informática, se realizará el diseño de la misma. En la figura 2 se muestra el boceto de estructura a realizar.

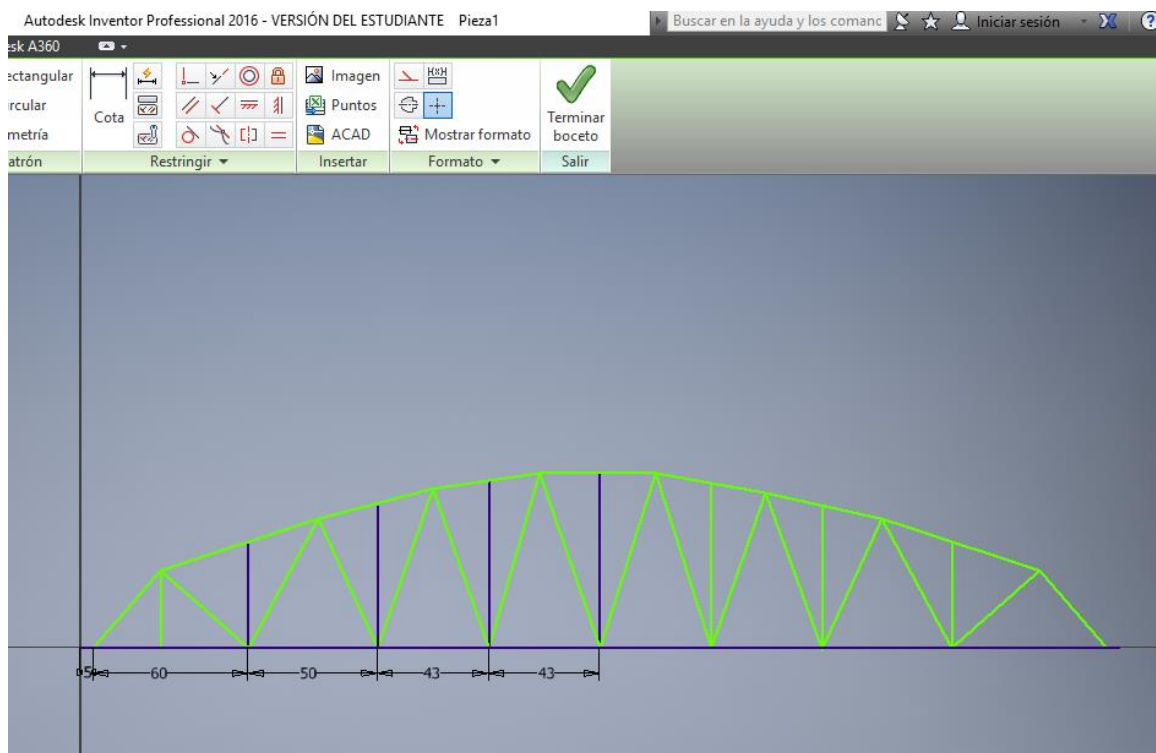


Figura 1.- Imagen del boceto básico de la estructura a realizar por el estudiante.

Etapas 3: Cálculos teóricos de la estructura en tamaño real, con los materiales que habitualmente se realizan.

Siguiendo la metodología de trabajo, y antes de realizar el modelo para la impresión en 3D, el estudiante debe realizar el cálculo de estructura a escala real. Si en el papel la

estructura, a escala, tiene 400 mm, a escala real es de 12.800 mm. El estudiante seguirá los siguientes pasos en el cálculo estructural:

- 1.- Se determinan las acciones a las que se encuentra sometida la estructura.
- 2.- Se realizará una combinación de las acciones para que el estudiante valore cuál de ellas es la más desfavorable.
- 3.- Se realiza un reparto de las acciones hacia los nudos de la estructura articulada. Este paso para el estudiante es muy importante, para que todo el sistema estructural trabaje a esfuerzos de tracción o compresión simple.
- 4.- Utilizando alguno de los procedimientos analíticos desarrollados en clase, el estudiante determina los esfuerzos a los que se encuentra sometidas todas y cada una de las barras que conforman la estructura.
- 5.- A continuación, el estudiante dimensiona la estructura con el material con que habitualmente se fabrica. Este material suele ser acero, tipo de estructural, de calidad S275. Este dimensionamiento el estudiante lo realiza según los criterios de estado límite último y estado límite de servicio.

Etapla 4: Modelar y simular mediante el programa CAD/CAE, Autodesk Inventor cada uno de los elementos continuos que conforman la estructura. Se cuenta con una licencia de aula de informática para estudiantes y profesores de la ETSII.

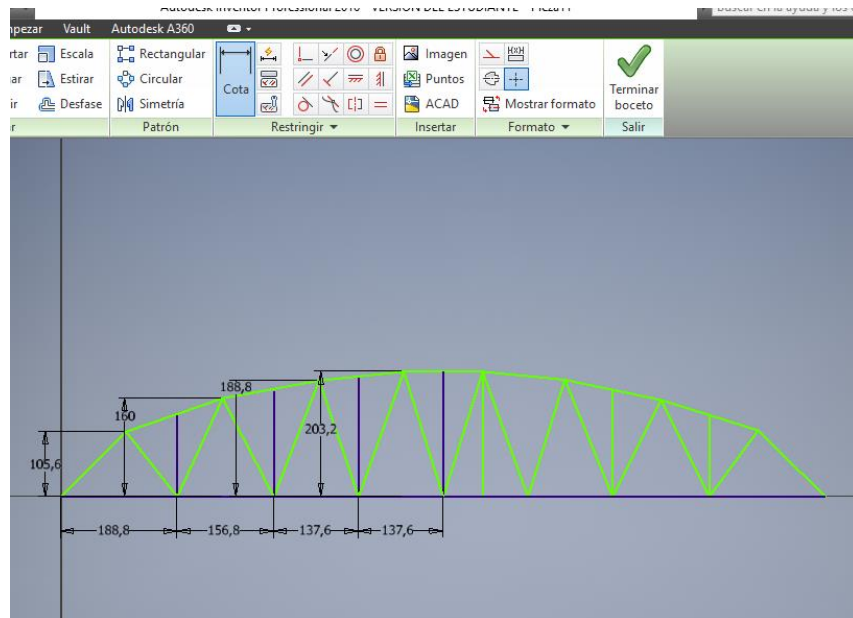


Figura 2.- Diseño de la estructura real con Autodesk Inventor.

En la etapa 2 el estudiante ya ha realizado el boceto de la estructura a calcular, ahora es el momento de realizar el cálculo de la misma utilizando la herramienta informática en su parte CAE.

El software INVENTOR profesional tiene un módulo de cálculo estructural que permite dimensionar la estructura y comprobar los resultados obtenidos en estado límite último y de servicio.

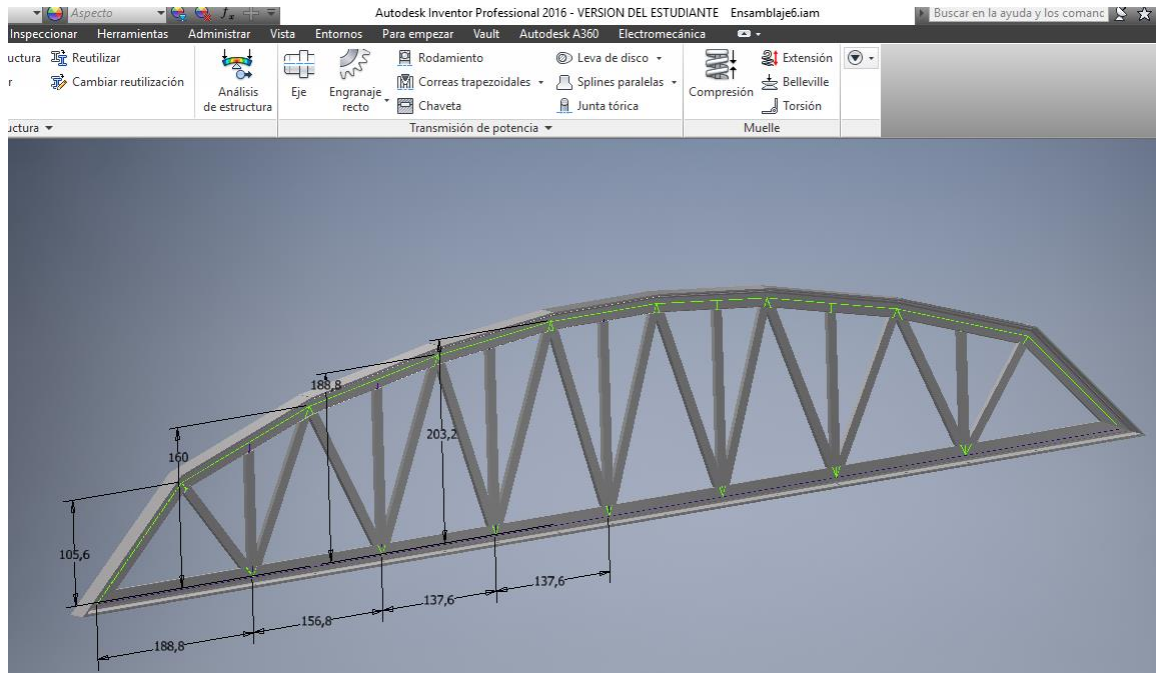


Figura 3.- Sólido real de la celosía, realizado con el módulo de análisis estructural de Inventor.

El ejercicio es una forma de recalcular la estructura y comprobar que lo que ha realizado analíticamente, con los conocimientos de clase, corresponde con lo que ha determinado en el programa. Este aspecto es especialmente importante para incidir en la necesidad del conocimiento de las bases teóricas en que se fundamentan los programas matemáticos de cálculo de estructura. Un conocimiento profundo de los fundamentos de cálculo permite juzgar el resultado obtenido mediante programas y modelos, y en caso de desviaciones del valor real, modificar los resultados obtenidos.

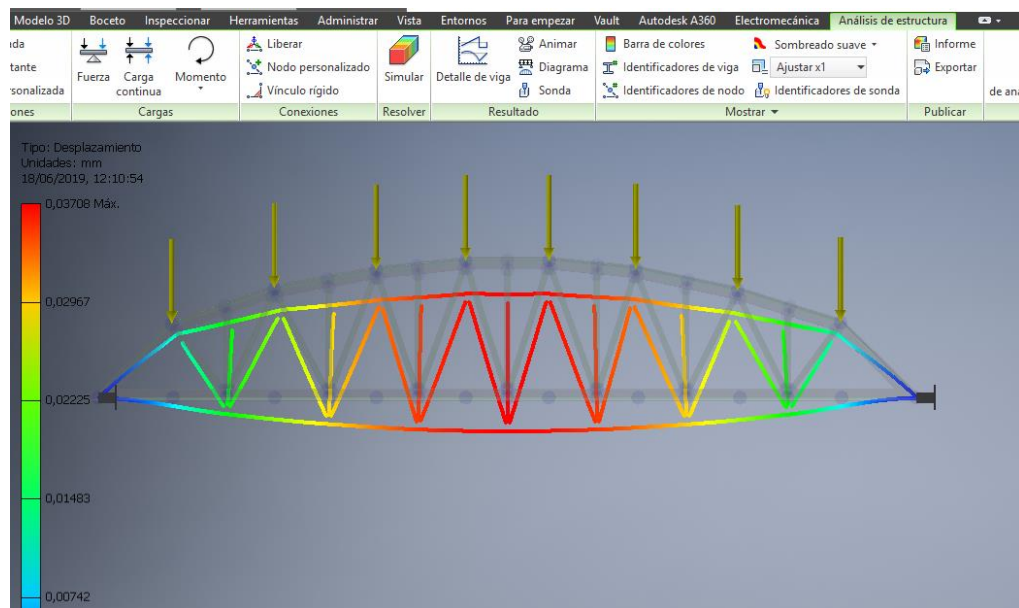


Figura 4.- Se puede observar el diagrama policromático de la estructura que determina el estado tensional de la misma.

Etapas 5: Validación de los resultados obtenidos en los cálculos teóricos y simulaciones numéricas con Inventor

Una vez que el estudiante ha realizado los cálculos analíticos, con el software CAE Inventor, debe de realizar las comprobaciones de los resultados obtenidos, y si hay diferencias debe de intentar averiguar a qué se deben.

En base a los resultados obtenidos por los estudiantes, en la mayoría de los casos, las diferencias se deben a:

- Errores por mal ajuste de decimales.
- Error al no tener en cuenta el efecto de la gravedad sobre la estructura. Es decir, su propio peso.
- Error al medir sólo el desplazamiento en una dirección (vertical u horizontal) y no tener en cuenta la composición de las dos. Este problema se debe a que el software CAE mide el desplazamiento absoluto de la estructura y no lo parcela en una sólo dirección.

Etapas 6: Diseño a escala de la estructura que se pretende imprimir en 3D. Para ello será necesario dimensionar la estructura para poder ser escalada.

Para la impresión del puente, debido a las dimensiones de la cama de la impresora 3D, se realizará en una escala 1:32, en relación al original. Como modelo a escala de este puente se utiliza el realizado por la empresa Ninco, que corresponde a una maqueta de esta empresa de un tren eléctrico, como se puede ver en la figura 5



Figura 5.- Imagen de maqueta de paso de nivel de tren eléctrico (1)

Una vez realizado el boceto por el estudiante, se pasa al diseño del sólido en 3D. Para ello se utiliza la técnica de la extrusión para dar cuerpo a las líneas que muestra la figura.

El modelo de impresora 3D, con la que cuenta el Departamento, es ANET 6A, cuya cama tiene unas dimensiones de 220X220 mm, lo que obliga, en base a la escala con la que vamos a realizar el modelo, a dividir la estructura en partes, como se puede ver en la figura 6.

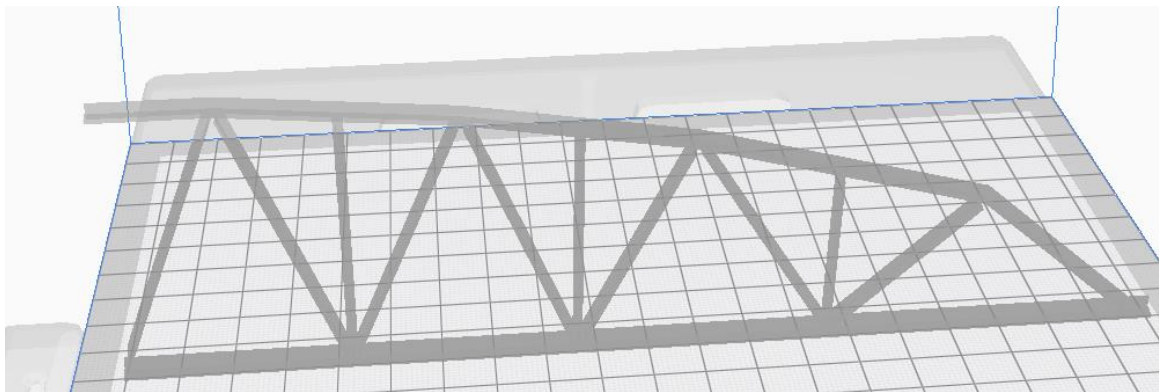


Figura 6.- Vista de la mitad de estructura como sólido 3D.

Con el modelo en 3D de la estructura a continuación es necesario llevarlo a un software propio de impresión en 3D. Para ello el fichero sólido se convierte en un fichero con la extensión “stl”, como se puede observar en la figura 7, para posteriormente ser transferido a nuestra impresora 3D.

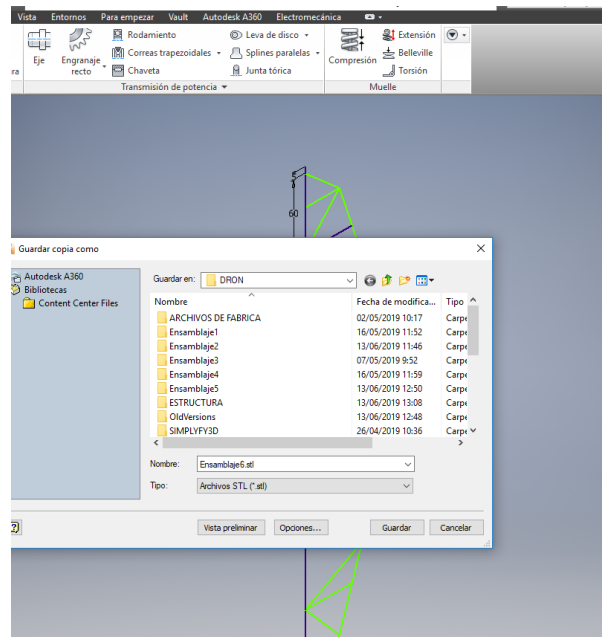
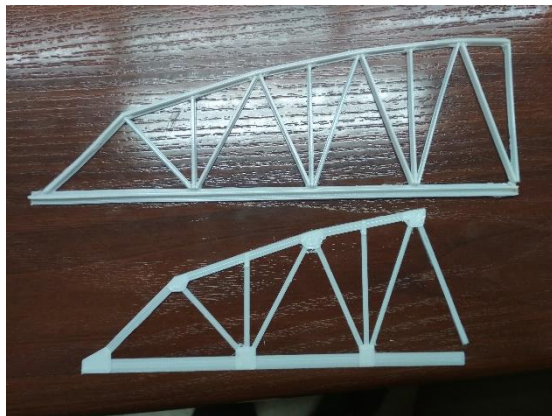


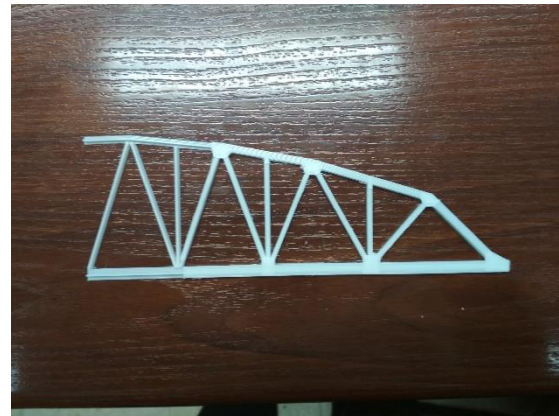
Figura 7.- Conversión de nuestro sólido 3D en un fichero “stl” con autodesk Inventor.

Etapas 7: Impresión de los modelos 3D creados con Autodesk Inventor.

En las figuras 8, 9, 10 y 11, podemos observar los resultados de las diferentes impresiones que se han realizado de la maqueta del puente.



a)



b)

Figura 8.- Impresión de media celosía y de una piel plana que sirve para montar las cartelas sobre la estructura



a)



b)

Figura 9.- a) Resultado de la impresión de uno de los estribos de apoyo de la estructura. b) Resultado de la impresión del tablero del puente.

Por último, se han imprimido las vigas de atado de las celosías. Estas vigas son necesarias para que los esfuerzos se canalicen desde los nudos de una celosía a la otra. Sin estos elementos no se cumpliría el principio de las estructuras articuladas para que todas las barras que las conforman trabajen a esfuerzos axiales.



Fig. 10.- Vigas de unión de las celosías necesarias para el reparto de esfuerzos.



Fig.11 Estructura para puente de paso a nivel de vía férrea.

Etapas 8: Puesta en marcha de las prácticas y actividades docentes en las asignaturas relacionadas: Resistencia de materiales y análisis de estructura en las titulaciones de: Grado en Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Electrónica Industrial y Automática, y para el Máster Universitario de Ingeniería Industrial.

Para estas asignaturas, el objetivo consiste en facilitar a los estudiantes la adquisición de las competencias específicas de las materias: “Resistencia de Materiales” y “Análisis de estructuras”, tanto para las titulaciones de grado antes mencionadas como para el máster universitario en Ingeniería Industrial. Estas actividades docentes se desarrollarán de la siguiente forma:

Resistencia de materiales y análisis de estructuras: La descripción que se va a realizar sirve para las dos asignaturas. En los estudios de ingeniería no se puede separar, ya que no podemos calcular estructuras sino sabemos resistencia de materiales.

En esta práctica el modelo didáctico de vigas en celosía permitirá a los estudiantes:

- 1.- Identificar de los distintos elementos de barra que conforman la estructura.
- 2.- Comprobará que los ejes centroidales de todas las barras pasan por un mismo nodo, de manera que se debe de cumplir el principio de los sistemas articulados.
- 3.- Verificar que toda la estructura presentará una unidad canónica básica, formada por polígonos triangulares.
- 4.- Se denotará que la estructura es resistente y que permite poder salvar distancias entre apoyos y además ver como es capaz de aguantar determinadas cargas.

5.- Visión espacial. El estudiante podrá observar como todas las estructuras son espaciales y que, a pesar de que la modelización que se realiza para los cálculos es plana, no cambian los resultados que se obtienen en la realidad.

6.- Por último, el estudiante podrá mejorar la visión espacial. Esta capacidad corresponde a una competencia transversal. Esta competencia es esencial para que el estudiante aprenda a diseñar objetos en 3D. En algunos casos esta capacidad es muy difícil de adquirir para algunos estudiantes.

El hecho de llevarle mediante un método de cálculo teórico y posteriormente el diseño, podrá ver que el trabajo que ha realizado es un trabajo real, que puede ver en diferentes construcciones civiles y que tiene una gran utilidad para la sociedad.

Etapa 9: Cuantificar la mejora del aprendizaje conseguida realizando encuestas de satisfacción de los estudiantes.

Esta última etapa no se ha podido llevar a cabo debido a que la docencia de las asignaturas en las que está previsto han finalizado a finales de mayo, y los estudiantes, en su mayoría, reside fuera de la ciudad. Esta fase se realizará en el próximo curso durante el primer semestre.

2.2. Sistema de evaluación

En este caso, al incorporar una nueva forma de completar la formación de los estudiantes, se va plantear un nuevo elemento más para poder evaluar la adquisición de las competencias.

Este elemento es el siguiente:

Se valorará el diseño y la creación de la estructura a realizar. Para ello cada estudiante realizará una presentación, uno de los últimos días de clase, delante del profesor y del resto de estudiantes. Antes el planteamiento propuesto por el estudiante se propiciará el debate, mediante el cual el estudiante podrá mejorar su aprendizaje, y por tanto la adquisición de las competencias, tanto específicas como transversales.

3. Resultados

Los resultados previstos en el aprendizaje de los estudiantes son las siguientes:

- . Mejora de la visualización y comprensión de los elementos barra.
- . Compresión de la modelización de elementos barra tridimensionales.
- . Mejora de la visualización de las uniones entre los distintos elementos que conforman la estructura. Los puntos más débiles de una estructura son sus uniones. El probar con distintos tipos de uniones le hace conseguir experiencia en la construcción de este tipo de elementos.

- . Mejora de la visión de la estabilidad estructural. Los estudiantes son capaces de comprobar como determinadas disposiciones estructurales son muy estables.
- . Mejorar la tasa de rendimiento
- . Aumentar la motivación de los estudiantes en el seguimiento de la asignatura.

4. Conclusiones

Las conclusiones de este proyecto, basadas en los resultados obtenidos en las distintas etapas, se pueden centralizar en tres grandes aspectos:

1.- Introducción de nuevas estrategias docentes, que se plasman en una mejora de los resultados de aprendizaje de estas asignaturas. El hecho de mejorar el aprendizaje no sólo mejora la formación de los estudiantes, sino que también le ayude a tener unos mejores resultados académicos. En todos los centros donde se imparten estas materias, los resultados denotan una alta tasa de suspensos la cual se achaca a una gran dificultad de comprensión de las mismas.

2.- Adaptación de los estudiantes a los nuevos retos que plantea la industria, como parte del programa formativo que permite a los estudiantes adquirir las competencias necesarias para el desempeño de su profesión. El mundo laboral es un mundo muy exigente en el que los ingenieros deben de responder con solvencia a los retos que les plantea

3.- Finalmente, aumento de la motivación del estudiante, incremento de su participación activa, y mayor interés por la mejora del proceso de aprendizaje. En consecuencia, nos lleva a una mejor tasa de éxito.

5.- Bibliografía

(1) <https://cults3d.com/es/modelo-3d/variado/1-32-scale-slot-car-truss-bridge-v-1> (visitada en junio 2019)